

## **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE COLECTORES CON ACUMULACIÓN INTEGRADA DE DOS TANQUES CON Y SIN DESCARGA DE AGUA CALIENTE**

**Rodolfo G. Stoll, Javier H. Garnica, Jorge R. Barral, Amílcar J. Fasulo**  
Universidad Nacional de Río Cuarto - Facultad de Ingeniería - Departamento de Mecánica  
Ruta Nac. 36 Km. 601, 5800 Río Cuarto  
Tel./Fax: (0358) 4676246 - e-mail: jbarra@ing.unrc.edu.ar

**RESUMEN:** Se estudió el comportamiento de dos sistemas de calentamiento de agua basados en colectores con acumulación integrada diferenciados únicamente por la cubierta transparente, uno con vidrio y otro con policarbonato, para comparar su comportamiento ante las mismas condiciones climáticas y verificar el comportamiento de los sistemas cuando se le realizan descargas de agua de tipo residencial. Se analizaron períodos de calentamiento y enfriamiento midiéndose temperaturas en distintos lugares de los prototipos y del medio ambiente y radiación solar, registrándose los datos cada 10 minutos durante varios días. Mediante gráficos de evolución de temperaturas y radiación y tablas se analizó la respuesta de los sistemas a la variación climática como así también a las extracciones de agua. Los resultados muestran que los sistemas son muy adecuados para el ahorro energético proveyendo agua caliente residencial, mostrando una excelente recuperación para extracciones continuas en días invernales soleados para la región centro-sur de Córdoba.

**Palabras clave:** Colector con acumulación integrada, cubiertas transparentes, agua caliente, uso residencial.

### **INTRODUCCIÓN**

En la búsqueda de la difusión del uso de la energía solar para el calentamiento de agua, los sistemas basados en colectores solares con acumulación integrada (CAI) han probado ser una opción conveniente desde el punto de vista del bajo costo y simplicidad de instalación (Kalogirou, 1997), ya que el equipamiento es compacto (almacenamiento y absorción en una sola unidad) y no requieren sistemas de control.

Existen muchas variantes de estos sistemas y algunas de ellas han sido estudiadas por el Laboratorio de Energía Solar de San Luis y el Grupo de Energía Solar de la UNRC, contándose con buenos resultados técnicos para CAIs de un solo tanque con cubiertas múltiples de policarbonato (Fasulo et al., 2001) y CAIs tubulares (Barral et al., 2002), que aunque proveen una buena solución técnica para la provisión de agua caliente, presentan aún un grado de complejidad elevado para un desarrollo tecnológico fácilmente comercializable. En función a lo dicho anteriormente respecto a costos, con la intención de lograr equipamientos más simples, se está trabajando actualmente con una variante de ciertos modelos propuestos por Tripanagnostopoulos y Souliotis (2004), consistentes en dos tanques horizontales, conectados en serie, cada uno de ellos auxiliado con un sistema de superficies reflectantes y montados en el interior de una caja aislada con un cubierta transparente simple en la parte superior.

Un prototipo de CAI de dos tanques con cubierta de policarbonato ha sido ensayado durante períodos de varios días en otoño-invierno de 2006, sin realizarle extracciones de agua, el cual mostró un comportamiento muy bueno en cuanto a la cantidad de energía acumulada, lo cual hace presumir un buen comportamiento del sistema para satisfacer las necesidades básicas de agua caliente de una familia tipo de cuatro personas (Garnica et al., 2006). En función a la experiencia adquirida se realizaron modificaciones al prototipo, construyéndose además otro de similares características a fines de comparar el funcionamiento entre ellos cuando se les realizan ciertas variantes tanto de materiales como de operación. En esta primera etapa se trabajó en la comparación del comportamiento de un prototipo con cubierta transparente de vidrio común y otro con cubierta de policarbonato alveolar de 6 milímetros de espesor.

Estos sistemas presentan el problema de enfriamiento nocturno del agua, debido a que la parte acumuladora queda expuesta al cielo a través de la cubierta transparente, ocasionando grandes pérdidas por radiación, comenzando al día siguiente el ciclo de calentamiento con agua a muy baja temperatura (Faiman et al., 2001). De todas maneras, ningún sistema de calentamiento solar de agua por bueno que sea está exento del refuerzo de un sistema en serie de calentamiento convencional para proveer la energía faltante cuando las condiciones climáticas son adversas durante algunos días corridos (Duffie y Beckman, 2006), por lo cual si se analizan entonces las consecuencias de utilización de estos sistemas más tradicionales de colectores de placa plana o de utilización de los CAI, lo que realmente debería compararse a la hora de adoptar uno u otro sistema, es el ahorro monetario neto a partir del ahorro de energía que se produce durante toda la vida útil de uno u otro sistema.

Así, estos sistemas presentan frente a los termosifónicos convencionales o los sistemas activos, la desventaja de que no se tiene siempre una temperatura alta de salida al usuario, estando generalmente a la mañana temprano bastante fríos en invierno. El eventual distribuidor o usuario de estos sistemas debería entonces tener una información precisa acerca de las prestaciones del sistema para saber qué probables temperaturas tendrá en cada momento del día.

Asimismo, a los fines de continuar con la mejora de estos sistemas, es importante que se conozca cómo se comportan cuando se le realizan extracciones a distintas horas del día, ya que al no contar los CAI con un almacenamiento extra al de la propia unidad absorbadora, deberán ser capaces de recuperarse para sobrellevar series de sucesivas descargas de agua. Dichas extracciones deberían por lo tanto ser lo más cercanas posibles a la verdadera utilización que se les va a dar a estos sistemas. Luego, para aquellos momentos más desfavorables en los que la temperatura del agua de salida no sea más alta que la de referencia en toda la serie de extracciones, se debe prever el suplemento de energía convencional, y en ese caso se debería estimar cuanta es la energía extra necesaria y cuál sería el costo de proveerla.

Se presenta en este trabajo primeramente una descripción de los sistemas ensayados y su instrumentación. Se describen después las experiencias realizadas y los criterios empleados para hacerlas, de acuerdo a las prestaciones que se esperan de estos sistemas. Se muestra luego un análisis del comportamiento basándose en el análisis de evolución de temperaturas de los CAI, temperatura ambiente y radiación solar. Finalmente se presentan resultados de la realización de extracciones y se estiman los valores de energía extra a suministrar en los casos de extracciones más desfavorables.

## DESCRIPCIÓN DE LOS PROTOTIPOS

En la Fig. 1 se muestra la vista en corte de uno de los prototipos de CAI utilizados para realizar los ensayos. En la Fig. 2 (a) se ven de frente los dos colectores en una de las plataformas de medición que posee el Grupo de Energía Solar en su campo experimental en la Universidad Nacional de Río Cuarto. Los CAIs son alimentados mediante un tanque de agua situado a 5 metros de altura sobre un techo de una edificación del laboratorio. Se les ha montado con una inclinación de  $45^\circ$  respecto a la horizontal, teniendo en cuenta la latitud de la ciudad de Río Cuarto. Ambos se encuentran conectados al mismo circuito de agua de entrada y poseen también una salida de venteo de altura común, la cual también opera como válvula de seguridad. Para la instrumentación se utilizó un mismo adquisidor de datos para ambos colectores, el cual fue ubicado al medio detrás de ambos equipos, lo cual se muestra en la Fig. 2 (b), al cual llegan las termocuplas ubicadas en distintos puntos de los CAIs.

Como se ve en la Fig. la conexión en serie de los tanques se realiza con la entrada por la parte inferior de los tanques y la salida por la parte superior, a fin de mantener la estratificación del agua en los dos tanques. Los prototipos fueron contruidos en forma análoga al primero ensayado, lo cual está detallado en un trabajo previo (Garnica et al., 2006). Básicamente los dos tanques horizontales, de unos 70 litros cada uno, que están rodeados por dos superficies reflectantes, una a cada lado; están aislados por debajo y en los laterales con lana de vidrio y montados sobre una estructura de caño cuadrado, cubiertos externamente con chapa galvanizada. Se han adicionado algunas ventanillas de inspección para la revisión del interior de los colectores, cambio y reparación de sensores, etc. Respecto al prototipo inicial se han realizado algunos cambios de materiales, como por ejemplo la superficies reflectantes se han hecho ahora de chapa galvanizada, y la cubierta interior de aislante es ahora de un aislante térmico denominado comercialmente Thermofoil, que es un aislante térmico de lámina aluminizada con burbujas plásticas de aire, ambos materiales que garantizan una mayor durabilidad. Como se dijo anteriormente, la única diferencia entre ambos prototipos ha sido la cubierta, que en un caso es vidrio común de 4 milímetros de espesor y en el otro policarbonato alveolar de 6 milímetros de espesor. Se adoptó vidrio común atendiendo a la disminución de costos buscada, teniendo en cuenta que el vidrio con bajo óxido de hierro es mucho más caro que el vidrio común y la disponibilidad en el mercado es limitada.

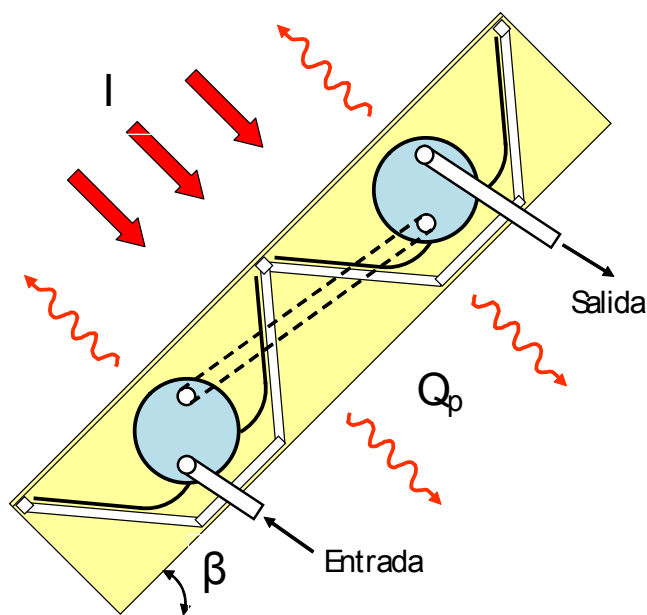


Figura 1. Vista en corte lateral de uno de los prototipos de colector acumulador integrado.



(a)



(b)

Figura 2. (a) Prototipos de CAI con distintas cubiertas transparentes. (b) Sistema común para adquisición de datos.

Las mediciones se realizaron utilizando termocuplas tipo K, que fueron colocadas a la entrada y a la salida de cada tanque y en el aire interior de cada una de las cavidades en que se alojan los tanques. Esos datos fueron recogidos y grabados en un sistema de adquisición de datos Agilent modelo 34970 A. Una estación meteorológica portátil marca DAVIS modelo Weather Monitor II, midió velocidad del viento, humedad relativa y temperatura ambiente. Con un Piranómetro de alta precisión marca EKO modelo SBP 801 se midió permanentemente la radiación global horizontal, y con un Pirheliómetro de Incidencia Normal EPLAB, Primera clase W.M.O., se midió la radiación directa también en forma permanente (grabado de datos cada un minuto). En el adquisidor de datos se cambiaba la escala al momento de las extracciones de agua para obtener un grado de detalle mayor de la evolución de la temperatura en los cortos intervalos en que dichas extracciones se realizaron. Las descargas de agua se midieron mediante la descarga del agua a la salida de los CAI en un recipiente plástico sobre una balanza digital, que se observan en la foto (b) de la Fig. 2, a la derecha.

Para las mediciones de la temperatura en el agua, las termocuplas fueron introducidas a través de las cañerías de entrada al primer tanque y de salida del último, ver Fig. 3, y en los extremos de las tuberías de conexión entre la salida del tanque de abajo (ubicada en el extremo opuesto a la entrada y en la parte superior de dicho tanque) y la entrada al tanque de arriba (ubicada en el extremo opuesto a la salida y en la parte inferior de este último tanque). La medición del aire en las cavidades ocupadas por los tanques fue realizada mediante termocuplas ubicadas en dichos lugares y cubiertas convenientemente para que su lectura no sea influenciada por la radiación solar. Los datos de los sensores son grabados en la unidad adquisidora de datos, de donde se descargan luego a una computadora personal mediante una salida en serie RS-232.

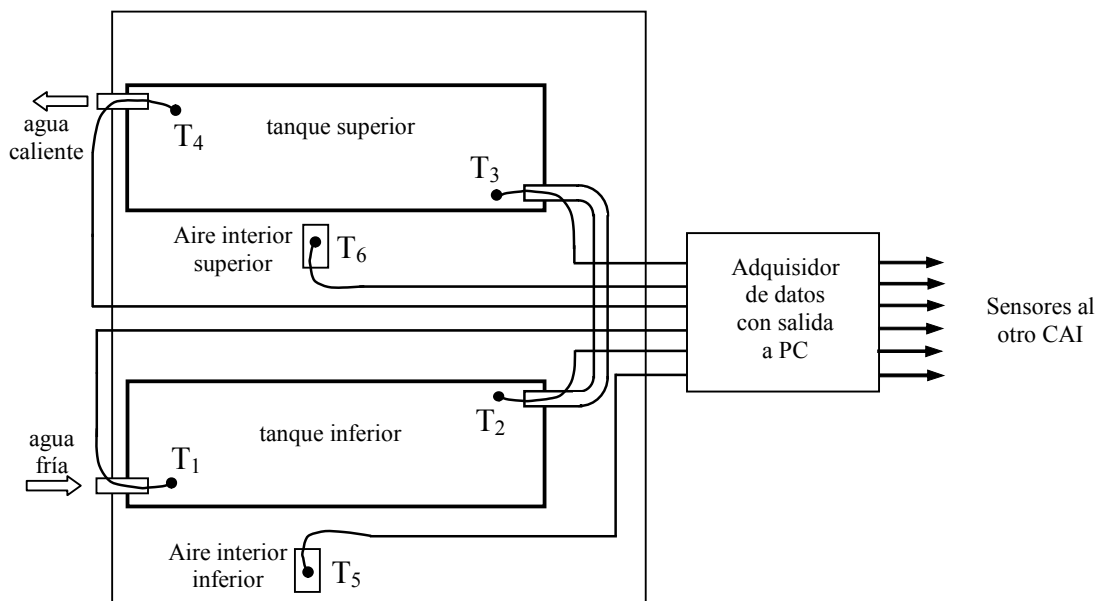


Figura 3. Posición de las termocuplas dentro de un CAI y salida al adquisidor de datos.

## ANÁLISIS DE CICLOS DE CALENTAMIENTO - ENFRIAMIENTO

Para realizar una comparación del comportamiento de los distintos sistemas de cubierta transparente se realizaron mediciones continuas de temperatura y radiación durante varios días seguidos sin realizar descargas de agua. En la Fig. 4 se muestra la evolución de las temperaturas de los prototipos durante 5 días, con sus valores en el eje de ordenadas izquierdo. Si bien se cuenta con los datos de 4 temperaturas del agua en los colectores, para mayor claridad del gráfico sólo se muestran las curvas correspondientes a las temperaturas de salida de cada uno de los CAIs (temperatura de salida del tanque superior). También se muestran las curvas de radiación global y directa, con sus valores a ser leídos en el eje de ordenadas ubicado a la derecha. Ha de tenerse en cuenta que la medición de la radiación directa se mide con el pirheliómetro que está adosado a un seguidor solar, por lo cual no es comparable con la radiación global horizontal y de hecho se ve en el gráfico que en los días de buena radiación solar supera a la global horizontal; esta medición se muestra únicamente en forma cualitativa para identificar claramente los días en que se cuenta con buena radiación directa y cuando se produce la aparición de nubes.

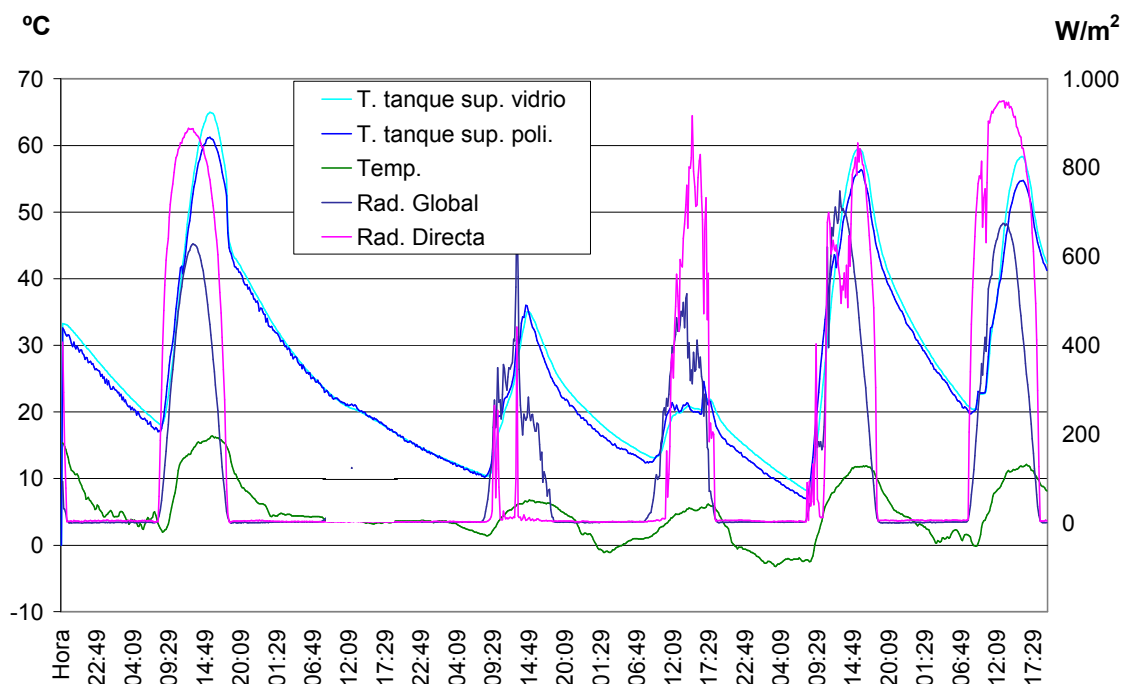


Figura 4. Evolución de la temperatura en la salida los dos prototipos para una serie de cinco días

Se observa que los días de buena radiación solar cada CAi alcanza temperaturas aceptables como para el baño un ser humano. Se eligió este período en particular, ya que se caracterizó por días de muy baja temperatura e incluso dos días seguidos con temperaturas que llegaron a estar bajo cero, e incluso el primero de ellos fue un día bastante nublado. Allí se observa que el desempeño de los prototipos bajó notablemente, pero que luego de un par de días soleados se recuperaron totalmente; se observa el efecto de la inercia térmica que no le permite a los sistemas levantar demasiado la temperatura con el primer día soleado.

En la figura se observa que en general el prototipo con cubierta de vidrio alcanza una temperatura ligeramente superior, por lo tanto llega a almacenar algo más de energía que el prototipo con policarbonato, pero dicha diferencia no es sustancial y el enfriamiento de ambos es muy parecido. Observando más en detalle dos días, uno con mucha radiación directa y otro con poca radiación directa, o sea muy nublado, se observa que el vidrio supera al policarbonato cuando la radiación directa es alta, pero por el contrario en el período de calentamiento el comportamiento del sistema con policarbonato supera al vidrio (segundo día).

## ENSAYOS CON DESCARGAS DE AGUA CALIENTE

Para los ensayos de descarga de agua caliente, se debió determinar primeramente cual sería la cantidad de agua a extraer. Como era de esperar que la cantidad de agua sea variable, dado que no siempre se va a contar con la misma temperatura, a veces el agua estará muy caliente y deberá mezclarse con agua fría o eventualmente puede estar muy fría y requerir de un calentamiento posterior con energía convencional. Por lo tanto como primera medida se determinó cual debería ser la temperatura de baño. En función a información de fabricantes de colectores solares de la República Argentina (INNOVAR SRL, 2007) se adoptó como valor de referencia el agua que podría utilizar una persona para bañarse, 42 °C. Luego, en función a que el sistema está pensado para un uso racional de la energía, se adoptó como cantidad de agua necesaria para bañarse unos 40 litros de agua. Con estas hipótesis, para cada período de extracción, en función de la temperatura del agua a la salida del tanque superior, se puede estimar calorimétricamente la cantidad de agua a extraer para mezclar con agua fría cuando dicha temperatura es muy alta, o por otro lado, si la temperatura de salida es inferior a 42 °C, sacar directamente los

40 litros supuestos, los cuales deberán luego ser calentados para alcanzar la temperatura de referencia, lo cual también se calcula calorimétricamente. De esta forma tenemos:

Masa total de agua para un baño	$m = 40 \text{ kg}$
Masa en kg de agua caliente extraída del colector	$m_c$
Masa en kg de agua fría de red de agua	$m_R$
Calor específico del agua	$C_p$ (no es necesario su valor numérico para este cálculo)
Temperatura a la salida del tanque superior	$T_c$ = variable de acuerdo a la evolución y descarga.
Temperatura de salida de la red de agua	$T_R = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ (se adopta en función a valores típicos invernales)
Temperatura de baño estimado	$T = 42 \text{ }^\circ\text{C}$

Se puede realizar el siguiente cálculo calorimétrico:

$$m \cdot c_p \cdot T = m_c \cdot c_p \cdot T_c + m_R \cdot c_p \cdot T_R \quad (1.)$$

$$m = m_c + m_R \quad (2.)$$

Reemplazando la ecuación (1.) en (2.) y despejando se llega a (3.)

$$m_c = m \cdot \left( 1 - \frac{1}{1 + \frac{T_R - T}{T - T_c}} \right) \quad (3.)$$

Ante la duda acerca de la constancia de la temperatura en cada extracción, se realizaron mediciones previas para analizar el comportamiento del agua a la salida de los CAI. Se monitoreo tanto el agua de salida como los otros puntos de medición de agua en el sistema. Resultados típicos se muestran en la Fig. 5, donde se han representado las temperaturas de las entradas y salidas de agua de un CAI, y para una mejor visualización se ha ampliado la escala de tiempos en la zona de las extracciones. En particular en este caso se muestran cuatro extracciones, donde se observa primeramente que para cada extracción se puede considerar que el agua sale casi a temperatura constante, aunque varía de extracción un poco de extracción en extracción. Esto permite utilizar directamente la ecuación (3) para determinar la cantidad de agua a extraer antes del comienzo de la extracción, con sólo mirar la temperatura que el adquisidor de datos muestra para el canal de medición de la salida del CAI. Por otro lado, estas curvas muestran claramente como se conserva la estratificación en el sistema, manteniéndose la temperatura de la salida con una variación muy pequeña, mientras que la entrada del tanque superior y salida del inferior muestran variaciones más acentuadas, pero que asimismo luego de un corto tiempo se estabilizan.

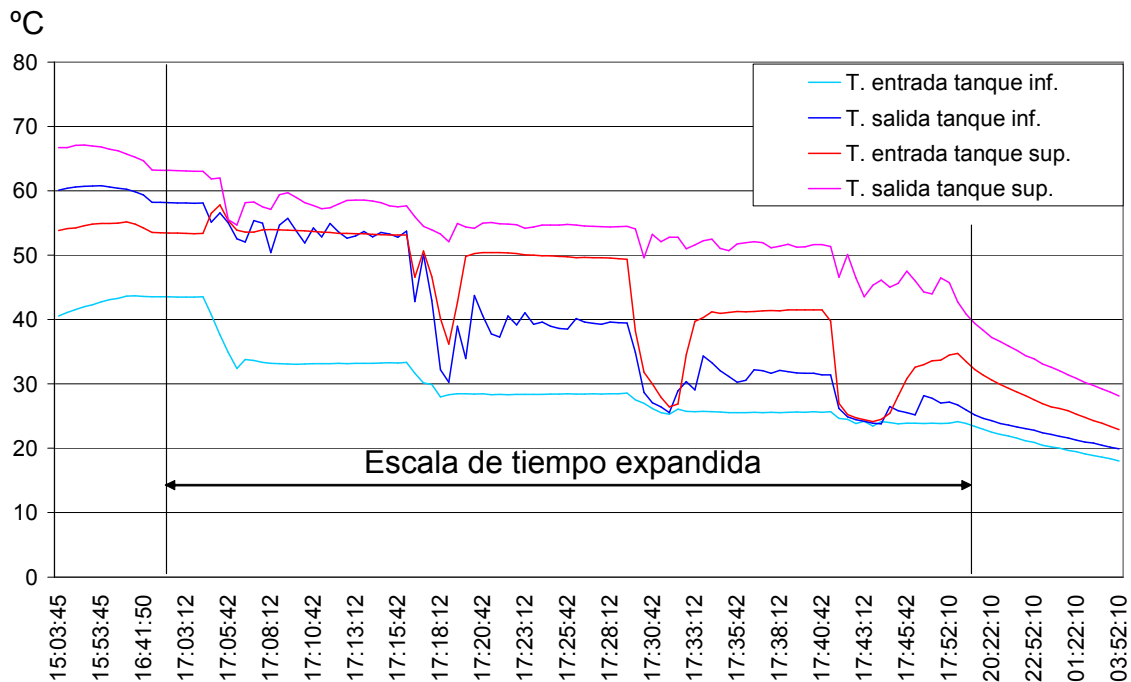


Figura 5. Comportamiento de las salidas y entradas a los tanques de un CAI durante sucesivas extracciones de agua

En otras palabras, se puede decir que la existencia de los dos tanques amortigua el efecto de la entrada violenta de agua fría ocasionada por una extracción equivalente a la apertura de una canilla para el baño de una persona.

Se procedió entonces a realizar las descargas, cuyos resultados se muestran en la Fig. 6, donde otra vez se utiliza una escala de tiempos expandida (E.T.A.) para visualizar mejor los procesos de extracción que son de corto tiempo. Los resultados numéricos se muestran en la Tabla 1 para el CAI con cubierta de policarbonato y en la Tabla 2 para el CAI con cubierta de vidrio. Como del análisis sin descarga se comprobó que ambos se comportan de forma similar, se decidió realizar ensayos en forma diferenciada, con algunas variantes en el CAI con cubierta de policarbonato y con extracciones sucesivas iguales para el CAI con cubierta de vidrio.

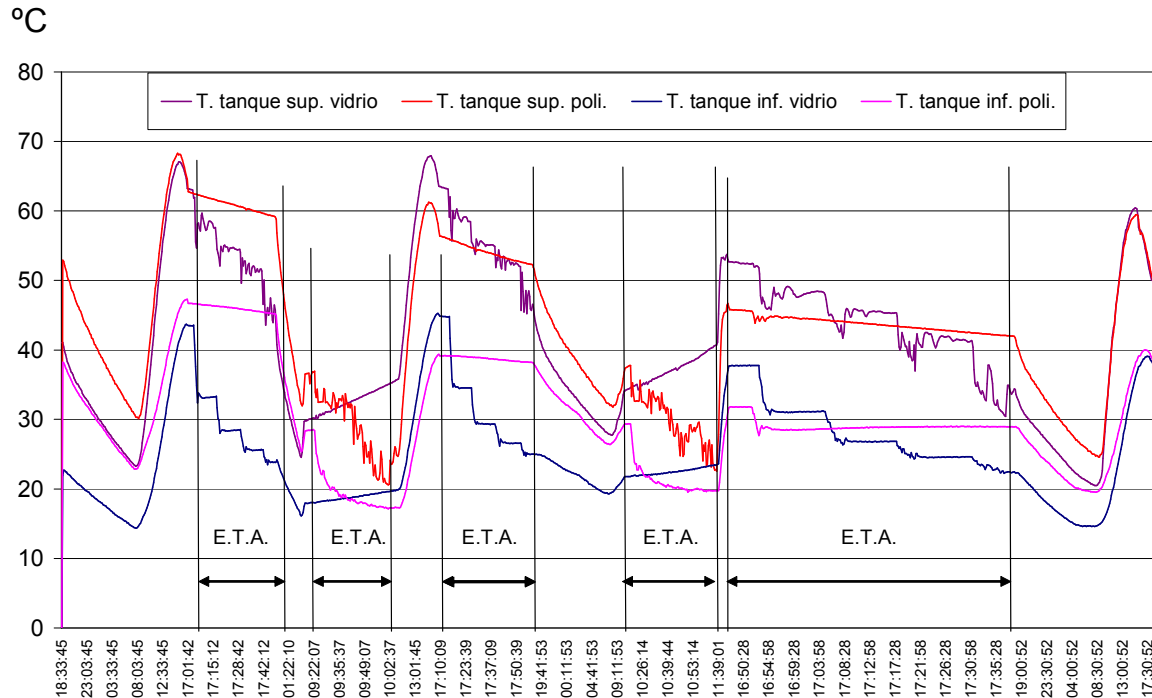


Figura 6. Comportamiento de las salidas y entradas a los tanques de un CAI durante sucesivas extracciones de agua

Fecha del ensayo	Tiempo de inicio	Litros extraídos	Temperatura Tanque °C	Tiempo de finalización	Temperatura de la descarga °C	Energía Extra KW.h
<b>27-Ago</b>	18:18	21	54,8	18:21	48	0
	19:04	23	50,9	19:08	48,4	0
	19:10	24	49,7	19:15	47	0
	19:16	24,5	48,5	19:21	46,2	0
<b>30-Ago</b>	15:10	17	65,1	15:13	52,7	0
	15:23	20	56,7	15:28	51	0
	15:38	21	54,7	15:43	50,8	0
	15:53	21,5	53,8	15:18	49,7	0
	18:23	25,7	47	18:29	44	0
<b>31-Ago</b>	15:49	18,5	61,6	14:53	49,4	0
	16:03	21	55	16:07	48	0
	16:58	22,5	52	17:04	47,6	0
	18:04	26	46,6	18:11	43,7	0
<b>03-Sep</b>	09:45	40	Menor a 42		32,25	0,45
		40	Menor a 42		31,4	0,49
		40	Menor a 42		26,45	0,72
		40	Menor a 42	10:20	23	0,88
<b>04-Sep</b>	10:47	40	Menor a 42		32,9	0,42
		40	Menor a 42		32,95	0,42
		40	Menor a 42		28,85	0,61
		40	Menor a 42	11:34	26,9	0,70

Tabla 1: Seguimiento de las extracciones del CAI con cubierta de policarbonato

Se puede ver primeramente, para la Fig. 6, donde se tienen los dos primeros días con una buena radiación solar, que la extracción del primer día no afecta en nada al segundo día, o sea, a pesar de que estos sistemas poseen una alta inercia térmica, las 4 extracciones se pueden repetir sucesivamente durante varios días soleados, sacándolas a todas por encima de los 42 °C, y el sistema se recuperará sin problemas. Por otro lado, se ve que para los días muy fríos o nublados el sistema no es capaz de proveer toda el agua caliente necesaria, aunque de todas maneras hay que considerar que se está realizando el estudio en una época claramente invernal.

Fecha del ensayo	Tiempo de inicio	Litros extraídos	Temperatura Tanque °C	Tiempo de finalización	Temperatura de la descarga °C	Energía Extra KW
<b>27-Ago</b>	18:27	22	53,6	18:32	47,4	0
	18:35	22	53,1	18:40	46,4	0
	18:44	23,5	50,3	18:48	47,1	0
	18:52	22,5	51,7	18:59	40,6	0
<b>30-Ago</b>	17:33	17,5	63,1	17:37	55,3	0
	17:47	19,5	58,7	17:52	52,2	0
	18:02	21	55,4	18:07	51,9	0
	18:17	21,5	54,1	18:21	50,2	0
	18:36	23	50,8	18:41	45	0
<b>31-Ago</b>	17:36	18	62	17:40	55,7	0
	17:42	20,5	56,4	17:53	51,1	0
	18:03	22,5	52,6	18:06	49,6	0
	18:16	23	50,8	18:18	45,8	
<b>01-Sep</b>	17:33	17,5	64,4	17:36	52,1	0
	17:46	19,5	58,3	17:48	51,5	0
	17:58	21	55	18:01	50,2	0
	18:13	23	51,5	18:17	45,8	0
<b>02-Sep</b>	17:33	17,6	63	17:35	52,2	0
	17:45	20	57,6	17:48	21,2	0
	17:58	21,5	54,3	18:01	49,2	0
	18:11	23	51,6	18:13	43,9	0
<b>03-Sep</b>	17:42	17,5	63,1	17:45	53,3	0
	17:55	19,5	58,5	17:58	52	0
	18:08	20	57	18:11	50,2	0
	18:21	22,5	52,2	18:24	46,2	0
<b>04-Sep</b>	17:22	22,5	52,3	17:24	43,9	0
	17:34	25	48,3	17:37	42,7	0
	17:47	27	45,5	17:50	38,6	0,15
	18:00	40	41,6	18:06	33	0,41

Tabla 2: Seguimiento de las extracciones del CAI con cubierta de vidrio

Analizando y comparando las tablas se observa que: el día 27 de agosto el comportamiento de ambos CAI fue similar; el día 30 se extrajo agua antes del pico de radiación obteniendo mas cantidad de agua caliente que el día 27 de agosto. Para la Tabla 1, en los días 3 y 4 septiembre se realizaron las extracciones por la mañana, que se sabe de antemano no será un horario conveniente. De todas maneras, para el del 4 de septiembre, que se hizo una hora después que el anterior, se observa que se consigue llegar a la temperatura de referencia con un aporte bastante menor de cantidad de energía que para el día anterior, lo cual sugiere que el ahorro de energía se extiende durante varias horas aunque la máxima temperatura deseada no se alcance. Para la Tabla 2, en el día 4 de setiembre se da una situación intermedia, siendo que para las dos primeras extracciones se puede proveer toda la energía necesaria desde el CAI, mientras que las dos restantes deben ser suplementadas convencionalmente. Si bien fue una extracción vespertina, se trató en ese caso de un día nublado y frío.

## RESULTADOS OBTENIDOS

Algunos de los resultados más importantes que se pueden extraer de este estudio son: (a) los sistemas de cubierta no presentan grandes diferencias en cuanto a su aprovechamiento energético, así, si bien el vidrio calienta más, también se enfría más por la noche, y en los días nublados el polycarbonato tiene mejor comportamiento en lo que hace a absorción de radiación difusa; (c) realizando las extracciones después del pico energético (que ocurre unas dos o tres horas después del mediodía solar) el aprovechamiento energético es mejor que realizando las extracciones justo en el pico, lo cual se debe a que al no dejar alcanzar tan altas temperaturas al CAI, el gradiente térmico con el ambiente es más pequeño y las pérdidas de calor no son tan grandes; (c) cuando se extrae el agua se mantiene la estratificación, lo cual es muy conveniente desde el punto de vista termodinámico al evitarse el mezclado. (d) aún en los días nublados es posible extraerle energía a los CAI,

aunque probablemente en muchos días nublados y fríos se le deba suministrar energía auxiliar a estos sistemas. Si bien no se graficaron las evoluciones del aire interior a los colectores, este fue medido y será de utilidad cuando se confeccionen modelos físico-matemáticos para estudiar estos sistemas.

## CONCLUSIONES Y TRABAJOS A FUTURO

Si bien el polycarbonato es de más fácil montaje por ser más liviano y resistente que el vidrio, su conservación de propiedades de transparencia y durabilidad son inferiores a la del vidrio, pero a este último se le debería adosar además el costo de una malla antigranizo, que es estrictamente necesaria para la época estival.

La extracción más conveniente sería un rato antes del pico de almacenamiento del sistema, el cual es variable durante las distintas épocas del año. De todas maneras, dado el buen rendimiento invernal de estos sistemas, es de esperar que en la época cálida no sea tan necesario estar bañándose en la zona de máximo aprovechamiento energético.

Los resultados son bastante representativos de la realidad, pero se deberían tener en cuenta las pérdidas de las cañerías desde la salida de los CAI hasta la llegada al usuario. En la sexta columna de las tablas se ve la temperatura final de la extracción, la cual se medía cuando se terminaba la descarga en el recipiente plástico sobre la balanza digital y se observa que ésta es inferior a los 42 °C previstos. La comparación es muy gruesa, pero muestra que estas pérdidas a la salida deben tenerse en cuenta, primero para aislarlas lo mejor posible y después para medirlas en búsqueda de una mayor precisión de los resultados.

Si el día tiene buena radiación los CAIs se estabilizan con facilidad y están en condiciones de proveer la energía necesaria para una residencia de 4 personas. Atendiendo a la región en donde se realiza este desarrollo, con la mayoría de los días invernales soleados, se puede afirmar que estos sistemas serían muy convenientes para mejorar la calidad de vida de los usuarios aislados de la red de gas y que actualmente utilizan gas envasado, leña o energía eléctrica para el calentamiento de agua residencial.

Para un resultado completo que arroje el ahorro energético total de estos sistemas y permita estimar un tiempo de recuperación de la inversión, habrían de computarse todas las necesidades energéticas de un año completo, para lo cual sería muy conveniente contar con un modelo físico matemático de estos sistemas que permitan disminuir la necesidad de realización de experimentos. Se está trabajando actualmente en este sentido y gran parte de los datos recabados en el presente trabajo serán utilizados para tal fin.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló en la Universidad Nacional de Río Cuarto y está subsidiado la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNRC y la Facultad de Ingeniería de la UNRC.

## REFERENCIAS

- Barral J., Galimberti P., Lema A., Adaro J. y Fasulo A. (2002) Design, construction and simulation Analysis of a low cost Tubular Integral - Collector - Storage System. Euro Sun 2002, The 4th ISES Europe Solar Congress. Bologna, Italia.
- Duffie J. A. y Beckman W. A [2006] Solar Engineering of Thermal Processes, Third Edition, John Wiley and Sons, Inc.
- Faiman D., Hazan H. y Laufer I. (2001) Reducing the heat loss at night from solar water heaters of the integrated collector-storage variety. Solar Energy, Vol. 71, No. 2, pp. 87-93.
- Fasulo A., Follari J. y Barral J. (2001) Comparison between a simple solar collector accumulator and a conventional accumulator. Solar Energy, Vol. 71/6, pp. 389-401.
- Garnica J. H., Barral J. R., González A. S. y Lucchini J. M. (2006) Estudio experimental de un colector con acumulación integrada de dos tanques con superficies reflectantes y cubierta de polycarbonato. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 10, pág. 03.53 - 03.59.
- INNOVAR SRL (2007) <<http://www.innovarsrl.com.ar/especificaciones%20tecnicas.htm>>, Rendimiento del calefón solar completo.
- Kalogirou S. (1997) Design, construction, performance evaluation and economic analysis of an integrated collector storage system. Renewable Energy, Vol. 12, pp. 179-192.
- Smyth M., Eames P.C., Norton B. (2004) Techno-economic appraisal of an integrated collector/storage solar water heater. Renewable Energy, Vol. 29 pp. 1503-1514.
- Tripanagnostopoulos Y. y Souliotis M. (2004) ICS solar systems with horizontal cylindrical storage tank and reflector of CPC or involute geometry. Renewable Energy, Vol. 29, pp. 13-38.

**ABSTRACT:** The behaviour of two integral collector storage systems with different transparent covers was studied; one of them with a common glass cover and the other one with a multichannel polycarbonate cover. The goal was to make a comparison under the same climatic conditions and to verify their responses when they must provide discharges of hot water to typical 4 people homes. Heating and cooling periods were analyzed by measuring temperatures in different places in the two prototypes, ambient temperature and solar radiation. The data were registered every 10 minutes during many days. The responses of the systems were analyzed by means of plots of temperature vs. time and tables. The results showed that both systems are adequate to provide energy savings when working with residential water extractions, having an excellent recovery behaviour for successive extractions in sunny winter days for the South-Central part of the Cordoba province.

**Keywords:** Integral collector storage system, glazing, hot water, residential use.